

другим задачам принятия решения.

1. Дюк В.А. Data Mining – интеллектуальный анализ данных. – СПб.: Питер, 2001. – 368 с.

2. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

Получено 04.03.2004

УДК 628.353

А.М.ТУГАЙ, д-р техн. наук, Я.А.ТУГАЙ, канд. техн. наук
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИЗНАЧЕННЯ ДОДАТКОВИХ НАПОРІВ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПОСТІЙНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ВОДОЗАБІРНИХ СВЕРДЛОВИН В УМОВАХ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ФІЛЬТРА І ПРИФІЛЬТРОВОЇ ЗОНИ

Розкривається механізм втрат напору при фільтраційних деформаціях фільтра і прифільтрової зони водозабірних свердловин та дається розрахунок визначення цих втрат при забезпеченні постійної продуктивності свердловин.

Практика експлуатації водозабірних свердловин (трубчастих колодязів) засвідчує зменшення їх продуктивності з часом в порівнянні з початковим. Це явище пов'язане з багатьма причинами, описаними в літературі, зокрема [1-4]. Однією із недостатньо досліджених причин цього явища є фільтраційні деформації фільтрів та прифільтрових зон свердловин, що ведуть до зміни щільності (пористості) самих фільтрів і пористості породи безпосередньо біля свердловини. Основними видами фільтраційних деформацій, що ведуть до зменшення продуктивності свердловин є кольматаж фільтрів і прифільтрових зон свердловин. При цьому розрізняють механічний, хімічний і біологічний кольматаж. Фізико-хімічна природа кольматажу в прифільтровій зоні досить складна, оскільки тут відбуваються різні процеси, сутність яких викладено в спеціальній літературі, наприклад [1, 4, 5]. При цьому встановлено, що процеси кольматажу по своїй природі є однією із форм масообміну при фільтрації рідини в пористому середовищі, а тому можуть бути вивчені на основі теорії фільтрації, масопереносу і масообміну. Разом з тим, методи визначення кольматажу і оцінки його впливу на продуктивність водозабірних свердловин оснований на занадто спрощених моделях і недостатньо повно відображають взаємопов'язані процеси фільтрації, масопереносу, масообміну і кінетики реакцій (при хімічному кольматажу). Тому гідродинамічна модель фільтрації в умовах наявності деформацій в прифільтровій зоні повинна складатися з двох взаємопов'язаних блоків: гідродинамічного (фільт-

раційного) і динаміки фільтраційних деформацій в пористому середовищі [6]. Такий підхід дозволяє врахувати вплив фільтраційних деформацій в прифільтровій зоні, на збільшення гідравлічного опору притоку води до свердловини і її продуктивність. Збереження сталої продуктивності (тобто $Q=const$), що і є бажаним при експлуатації свердловин, потребує визначення цього додаткового опору, що на практиці веде до пониження динамічного рівня води в свердловині, тобто створення додаткового опору.

Для вирішення цієї задачі фільтрацію і масообмін в прифільтровій зоні будемо розглядати при умові притоку води до досконалої свердловини в круговій в плані зоні фільтрації. Крім цього, вважаємо, що лінійний закон фільтрації (закон Дарсі) в прифільтровій зоні при проходженні фільтраційних деформацій не порушується. Тоді гідродинамічний блок моделі буде складатися із наступних рівнянь:

- рівняння фільтрації в пористому середовищі

$$k(r,t) = k_0(r)F(b), \quad v = -k(r,t) \frac{\partial S}{\partial r}, \quad S = H_0 - H(r,t); \quad (1)$$

- рівняння суцільності (нерозривності) фільтраційного потоку з урахуванням зміни пористості прифільтрової зони в результаті накопичення частинок в пористому просторі породи, при постійній густині рідини ($\rho = \rho_0 = const$) і значних масових концентраціях \bar{C} , тобто для процесу колюматації

$$\frac{\partial b}{\partial t} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(vr) = 0. \quad (2)$$

Блок динаміки фільтраційних деформацій буде складатися з слідуєчих рівнянь:

- рівняння руху (міграції) і збереження маси речовини, асоційованих з фільтратом (завислі речовини в фільтрі), в загальному вигляді

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rD \frac{\partial \bar{C}}{\partial r} \right) - \frac{1}{r} \frac{\partial (rv\bar{C})}{\partial r} - \frac{\partial \bar{b}}{\partial t} - R = (n_0 \pm \bar{b}) \frac{\partial \bar{C}}{\partial t}; \quad (3)$$

- рівняння кінетики масообміну для колюматажу

$$\frac{\partial \bar{b}}{\partial t} = \gamma(\bar{b}_0 - \varepsilon \bar{b})\bar{C} - a\bar{b}. \quad (4)$$

У наведених рівняннях: $S=H_0 - H$ – величина зниження рівня води (напору) в свердловині; H_0 – початковий (статичний) рівень води (напір); H , v – рівень (напір) і швидкість фільтрації в точці з радіусом-вектором r ; k_0 , k – коефіцієнти фільтрації недеформованого (природно-

го) і деформованого (кольматуючого) середовища; \bar{C} – масова концентрація завислих часток або важкорозчинних солей у фільтраті (розчині); $\bar{b} = b\delta$ – об’ємна концентрації часток, що осіли в одиниці об’єму породи (грунту); δ – об’ємна маса цих часток (густина осаду в твердій фазі); \bar{b}_0 – гранична кількість осаду (грязеємність порід прифільтрової зони); $\bar{\gamma}$ – стала швидкості випадання часток з розчину (коефіцієнт кольматації); ε – нормуючий коефіцієнт, який приймає значення 0 або 1; a – стала швидкості відриву часток від поверхні ґрунту і надходження їх знову в розчин; D – коефіцієнт дифузії; R – швидкість (реакція) можливого перетворення (трансформації) завислих часток; $F(b)$ – функція, вид якої підбирається на підставі експериментальних досліджень і залежить від виду, густини осаду і типу засипки фільтра.

Для функції $F(b)$ отримані різні апроксимації, які можна подати наступними узагальненими формулами:

$$F(b) = \left[1 - \left(\frac{\bar{b}}{n_0} \right)^{n_1} \right]^{n_2}, \quad (5)$$

$$F(b) = e^{-ab}. \quad (6)$$

Тут n_1 , n_2 і a – дослідні коефіцієнти, значення яких для характерних кольматуючих осадів, наведені в роботах [1, 5].

Аналіз наведених рівнянь і оцінка окремих членів, що входять до них, дозволяє стосовно рішення задачі, що розглядається, спростити їх і для вивчення процесів кольматажу подати в наступному вигляді:

$$k(r, t) = k_0(r)F(b), \quad \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rv_0) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rk_0 \frac{\partial S}{\partial r} \right) = 0, \quad (7)$$

$$(n_0 - b) \frac{\partial C}{\partial t} = -v(r) \frac{\partial C}{\partial r} - \frac{\partial \bar{b}}{\partial t}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \bar{b}}{\partial t} = \bar{\gamma} (\bar{b}_0 - \varepsilon \bar{b}) \bar{C}. \quad (9)$$

У випадку однорідного водоносного шару потужність m при відкачках з постійним дебітом $Q = \text{const}$ рівняння (9) доцільно записати у вигляді:

$$(n_0 - b) \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{q}{r} \frac{\partial C}{\partial r} - \frac{\partial b}{\partial t}, \quad v(r) = \frac{q}{r}, \quad q = \frac{Q}{2\pi n}. \quad (10)$$

Пониження рівня води в свердловині, яка працює з постійним дебітом (витратою) Q в умовах кольматації прифільтрової зони отримасмо в результаті розв'язання рівняння (7) у наступному вигляді:

$$S(r, t) = \frac{Q}{2\pi n} \int_{r_0}^{R_n} \frac{dr}{rk(r, t)}. \quad (11)$$

У рівнянні (11) коефіцієнт фільтрації залежить від концентрації b і визначається по залежності (7), вид функції $F(b)$ в якій встановлюється відповідно до (5) або (6) із залученням експериментальних даних. Відзначимо, що концентрація частинок b , що осіли, знаходимо в результаті розв'язання рівнянь (8) і (9).

На підставі викладеного, для визначення необхідного пониження рівня води у свердловині, який забезпечував би постійний її дебіт (продуктивність $Q = \text{const}$) з урахуванням додаткового опору за рахунок кольматажу при рівноважній кінетиці, що розглядається у роботі [4], з деякими обмеженнями у постановці задачі для практичних розрахунків можна використовувати вираз:

$$\Delta S = S_c(t) - S_c(0) = \frac{Q}{2\pi n k_2} \xi_k, \quad (12)$$

$$\xi_k = \frac{1 - \sigma}{\sigma} \ln \left(\frac{Qt}{\pi n \beta r_c^2} + 1 \right), \quad (13)$$

де $\sigma = \frac{K_1}{K_2}$, K_1, K_2 – коефіцієнти фільтрації в першій кольматуючій

зоні з концентраціями $b = b_0$ і $C = C_1$ і другій зоні природного водонаосного шару з концентраціями $b = 0$ і $C = C_2$; r_c – радіус свердловини; R_n – радіус живлення свердловини; β – коефіцієнт розподілу.

Відносне збільшення опору (необхідне пониження рівня води в свердловині для його врівноваження) за рахунок кольматажу буде:

$$\eta = \frac{S_c(t)}{S_c(0)} = 1 + \varphi, \quad (14)$$

$$\varphi = \frac{1 - \sigma \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)}{\sigma \ln\left(\frac{R}{r_c}\right)}, \quad R = \sqrt{\frac{Qt}{\pi n \beta}} + r_c^2, \quad \beta = \frac{b_0 - n_0(C_2 - C_1)}{C_2 - C_1}.$$

Інші моделі при прийнятих загальних умовах $C(r, t) = \alpha S(r, t)$, де α – коефіцієнт пропорційності, розглянуті в роботах [6, 7]. Зокрема для визначення додаткового опору ξ_k за рахунок кольматації фільтра отримано вираз:

$$\xi_k = \left(\frac{k}{k_\phi \left(1 - \frac{b}{b_0}\right)^3} - 1 \right) \ln \frac{r_c}{r_\phi}, \quad (15)$$

де r_c, r_ϕ – радіуси свердловини і фільтра; k, k_ϕ – початкові коефіцієнти фільтрації водоносного шару і фільтра.

Таким чином, розрахункова формула за якою визначається необхідний напір, що забезпечує постійний дебіт свердловини в реальних умовах може бути записана в загальному вигляді:

$$S_{заг} = S + \Delta S_\phi + \xi_k + \xi_n = \frac{Q}{2\pi k_0 m} \left(\ln \frac{R_n}{r_c} + \xi_n + \xi_k(t) \right) + \Delta S_{\phi_0}, \quad (16)$$

де ξ_n – коефіцієнт недосконалості за ступенем розкриття водоносного шару; ξ_k – коефіцієнт недосконалості за характером розкриття (коефіцієнт, що враховує кольматаж фільтра і прифільтрової зони свердловини; ΔS_{ϕ_0} – величина опору незакольматованого фільтра.

Більш повне розкриття значень величин додаткового опору при механічному і хімічному кольматажах може бути отримане при розробці математичних моделей цих явищ, та експериментальним шляхом. Так, у роботах [5, 7] розглянута і реалізована математична модель, що включає процеси фільтрації, масопереносу і масообміну при визначенні втрат напорів в очисних фільтрах при знезалізненні підземних вод. В наших роботах [6, 7] наведені математичні моделі механічного і хімічного кольматажів свердловин сполуками заліза, що дає змогу більш глибоко розглянути сутність цього явища і уточнити розрахунки про-

дуктивності трубчатих колодязів (свердловин).

1. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин. – М.: Недра, 1985. – 334 с.
2. Тугай А.М., Прокопчук И.Т. Эксплуатация и ремонт систем артезианского водоснабжения. – К.: Будівельник, 1988. – 176 с.
3. Абрамов С.К., Алексеев В.С. Забор воды из подземного источника. – М.: Колос. – 1980. – 239 с.
4. Веригин Н.Н. Кольматаж призабойной зоны скважины // ПМТФ. – 1964. – № 2. – С.74-83.
5. Киселев С.К., Олейник А.Я. Гидродинамическая модель фильтрации при очистке подземных вод от соединений железа // Прикладная гидромеханика. – 1999. – Т.1(73). – С.20-25.
6. Олейник А.Я., Тугай А.М. Моделирование процессов кольматажа и суффозии в прифильтровой зоне скважины // Доповіді НАН України. – 2001. – №9. – С.190-194.
7. Олійник О.Я., Тугай А.М. Математичне моделювання хімічного кольматажу свердловин сполуками заліза // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Рівне: РДТУ. – 2002. – № 26. – С.271-278.

Отримано 16.02.2004

УДК 338.504

Е.А.ДМИТРИЕВА, канд. техн. наук, Л.Г.ИГНАТЕНКО, И.В.КОЛДОБА
Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, г.Харьков

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОЕМОВ – ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Анализируется сложившаяся в Украине проблема питьевого водоснабжения. Рассматривается «цветение» воды водоемов – источников питьевого водоснабжения и его негативные последствия как масштабная эколого-социальная проблема за рубежом и в нашей стране. Указан комплекс экспериментальных работ, проводимых УкрНИИЭП, по оценке эколого-гигиенического благополучия поверхностных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения и намечены перспективы дальнейших исследований.

Одна из главных задач государственной политики в области водопользования сегодня состоит в отработке эффективных механизмов реализации отдельных стратегических направлений национального развития с учетом опыта европейских и других стран мира. Это нашло свое воплощение в Основных направлениях государственной экологической политики Украины и в Послании Президента Украины Верховной Раде Украины «Европейский выбор. Концептуальные основы стратегии экологического и социального развития Украины на 2002-2011 гг.».

Водные ресурсы являются важнейшим природным фактором, который определяет развитие экономики, размещение продуктивных сил, комфортность жизни населения. Зависимость общества от водных ресурсов возрастает, повышаются требования к качеству воды. В Основ-